

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-283873

(43)Date of publication of application : 13.10.2000

(51)Int.Cl.

G01L 25/00

(21)Application number : 11-090983

(71)Applicant : AGENCY OF IND SCIENCE &
TECHNOL
FUJII YUSAKU
FUJIMOTO HIROYUKI

(22)Date of filing : 31.03.1999

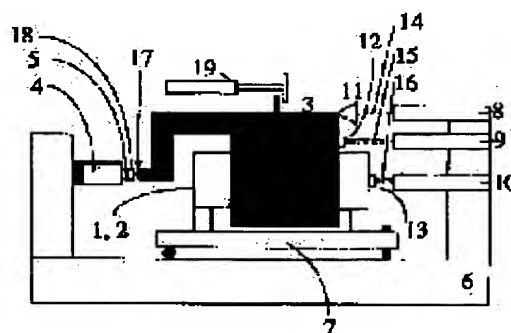
(72)Inventor : FUJII YUSAKU
FUJIMOTO HIROYUKI

(54) DEVICE FOR EVALUATING IMPACT RESPONSE OF FORCE SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately obtain a true value of the time integration value of acted force by allowing a movable part supported by the guide part of a direct-acting bearing to collide with a force sensor, and by measuring a true force acted on the force sensor according to speed change during the collision.

SOLUTION: An entire movable part (movable part) 3 supported by a guide part 2 of a direct-acting bearing is manually moved, and is allowed to collide with a force sensor 4 fixed to a surface plate 6. The time integration value of force acted on the sensor is measured by a measuring instrument (a light wave interferometer, or the like) 8 for measuring the speed of the movable part 3 before and after collision, a measuring instrument (an automatic collimator, or the like) 9 for measuring the attitude of the movable part 3, and a measuring instrument (the automatic collimator, or the like) 10 for measuring the attitude of a guide part 2. Also, a direct-acting static pressure air bearing is used as the direct-acting bearing. Then, a straight line for connecting the center-of-gravity position of the movable part 3 and a collision point 17 is set in parallel with the movable direction of the direct-acting bearing, thus substituting a time integration value of force given to the force sensor 4 as the speed change of the movable part 3 for measuring, and hence achieving accurate measurement.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 31.03.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3177681

[Date of registration] 13.04.2001

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3177681号

(P3177681)

(45) 発行日 平成13年6月18日 (2001. 6. 18)

(24) 登録日 平成13年4月13日 (2001. 4. 13)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

G 0 1 L 25/00

G 0 1 L 25/00

A

請求項の数 5 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-90983
(22) 出願日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)
(65) 公開番号 特開2000-283873 (P2000-283873A)
(43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)
審査請求日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)

(73) 特許権者 301000011
経済産業省産業技術総合研究所長
東京都千代田区霞が関1丁目3番1号
(73) 特許権者 597030800
藤井 雄作
茨城県つくば市並木2丁目127-101
(73) 特許権者 598173672
藤本 弘之
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 経済
産業省産業技術総合研究所 計量研究所
内
(72) 発明者 藤井 雄作
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業
技術院 計量研究所内
(72) 発明者 藤本 弘之
茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業
技術院 計量研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カセンサーの衝撃応答の評価装置

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 直動軸受のガイド部に支持された可動部を力センサーに衝突させ、その間の速度変化から、上記力センサーに作用した真の力を測定することを特徴とする力センサーの衝撃応答の評価装置。

【請求項2】 上記直動軸受に直動静圧空気軸受を用いることを特徴とする請求項1記載の力センサーの衝撃応答の評価装置。

【請求項3】 直動軸受のガイド部に支持された可動部を力センサーに衝突させ、その間の速度変化から、上記力センサーに作用した真の力を測定する力センサーの衝撃応答の評価装置において、

上記可動部の重心の位置と、上記可動部に設けられた衝突点とを結ぶ直線を、上記直動軸受けの可動方向と平行に設定することを特徴とする力センサーの衝撃応答の評

2

価装置。

【請求項4】 直動軸受のガイド部に支持された可動部を力センサーに衝突させ、その間の速度変化から、上記力センサーに作用した真の力を測定する力センサーの衝撃応答の評価装置において、

上記可動部に平面鏡を取付け、その傾きの変化を姿勢測定器によりモニターすることを特徴とする力センサーの衝撃応答の評価装置。

【請求項5】 リニアアクチュエータにより上記可動部に所望の初速度を与えることを特徴とする請求項1記載の力センサーの衝撃応答の評価装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は力センサーの衝撃応答の評価装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、破壊試験などの分野において、力センサーの動的応答性の評価に対する要望が強まっている。従来より、力センサーの動的応答評価方法として、変動力が加わっている環境下での弾性体の歪みを正確に計測しようとする方法、加振器と分銅の間に力センサーをセットし分銅の慣性力を既知の変動力として利用しようとする方法などが提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前者では、弾性体の歪みを2つの全く異なる方法（歪ゲージと静電容量変位センサ）で比較測定することにより、系統誤差要因の排除に努めており、0.001~100Hzの範囲内で0.4%の不確かさで測定できるとしている。ただし、動的な力と静的な力とで、弾性体の変形の様子がヒステリシスなどにより変わる可能性など、問題点も残る。

【0004】後者では、力センサー自身をも振動させてしまうため、センサ自身の慣性力の補正、その他、測定（校正）環境の違いによる影響、などに問題点がある。また、衝撃応答のような一発大波動的な現象に関して知りたい場合には、単一周波数の連続した振動における応答からそれをどこまで予測できるかという問題点も残る。

【0005】一般に、見逃される系統誤差要因、もしくは、Type-Bの不確かさ要因を排除する為には、可能な限り様々な方法が、様々な機関・人により試みられるべきである。力センサーの衝撃応答評価方法の確立過程の途上にある現状においては、与えられた力積、すなわち、作用した力の時間積分値、の真値を極めて高精度に知ることのできる方法は、力センサーの衝撃応答評価に使えるだけでなく、各種動的校正方法を衝撃応答に適用する上での妥当性の評価を行う上で役立ち、産業上のメリットは極めて大きい。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を解決するために、直動軸受のガイド部に支持された可動部を力センサーに衝突させ、その間の速度変化から、力センサーに作用した真の力を測定することを特徴とする、力センサーの衝撃応答の評価装置を提供する。

【0007】

【0008】この力センサーの衝撃応答の評価装置では、直動軸受に直動静圧空気軸受を用いてもよい。

【0009】本発明は、上記課題を解決するために、直動軸受のガイド部に支持された可動部を力センサーに衝突させ、その間の速度変化から、上記力センサーに作用した真の力を測定する力センサーの衝撃応答の評価装置において、上記可動部の重心の位置と、上記可動部に設けられた衝突点とを結ぶ直線を、上記直動軸受けの可動方向と平行に設定することを特徴とする力センサーの衝撃応答の評価装置を提供する。

【0010】本発明は、上記課題を解決するため

に、直動軸受のガイド部に支持された可動部を力センサーに衝突させ、その間の速度変化から、上記力センサーに作用した真の力を測定する力センサーの衝撃応答の評価装置において、上記可動部に平面鏡を取付け、その傾きの変化を姿勢測定器によりモニターすることを特徴とする力センサーの衝撃応答の評価装置を提供する。

【0011】この力センサーの衝撃応答の評価装置は、リニアアクチュエータにより可動部に所望の初速度を与えるようにしてもよい。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明に係る力センサーの衝撃応答の評価装置の実施の形態を実施例に基づいて図面を参照して説明する。図1、2は実施例1を説明する図である。図1の可動方向に垂直な面で切った断面図にあるように、ガイド部(2)から給気するタイプの直線軸受(1)を用いた。可動部(3)が数 μm の空気膜(21)で支持された静圧空気軸受(1)を用いた。可動部(3)に所望の 1cm/s から 10cm/s の初速を与えるために、リニアアクチュエータ(19)を導入している。可動部(3)の質量を 11kg とし、衝突点(17)において可動部(3)が静止するように、傾斜ステージ(7)の傾きを調節した。

【0013】衝突の前後における可動部の速度の変化から、可動部(3)に作用した力積、および、力センサー(4)の受感部(5)に作用した力積を推定する方法においては、2つの速度測定時刻の間に作用する外力の時間積分量について考慮する必要がある。また、可動部(3)の加速度から作用力の瞬時値を推定し、これと力センサーの出力を比較しようとする場合には、ダンパー(18)の慣性力のほか、そのとき可動部(3)あるいは力センサーに働いている外力の瞬時値について考慮する必要がある。外力として、可動部(3)の運動に伴う室内空気から受ける空気抵抗、ガイド部(2)と可動部(3)間に作用する摩擦抵抗などが挙げられるが、特に後者が支配的となる場合が多い。なお、センサー(4)の受感部(5)の質量分布、加速度分布による、慣性質量の影響は力センサー(4)を含めた力計測系側の問題であり、本実施例ではそれ全体を校正対象とする。

【0014】図2に示すような、直動軸受(1)のガイド部(2)に支持された質量が $M\text{kg}$ の可動部(3)を手で動かし適当な初速度を与え、定盤に固定された力センサーに衝突させ、衝突前後の速度(v_1 、 v_2 [m/s])を光波干渉計で測定する。一方、衝突時における力センサーの出力 F_{ss} の時系列を記録する。直動軸受としては摩擦抵抗の小さいもの、または、その大きさに再現性があり補正ができるものが好ましい。摩擦など外力が無視できる条件下では、可動部の運動量変化 $M(v_1 - v_2)$ は、可動部が力センサーに与える力積に等しい。

【0015】ここで、静的な方法、あるいは、前述のような加振器を用いた方法などの動的な方法で校正された

5

力センサーの出力の時間積分 $\int F_{xx} dt$ と、可動部の運動量変化として置換測定された真の力積 $\int F_{xx} dt$ との差分が、その衝突における力センサーの誤差として知れる。

【0016】衝撃力の時系列の形状は、可動部の質量、与える初速などの他、力センサー(4)の受感部(5)、または、可動部(3)の衝突部(17)に取り付けたダンパー(18)の、形状、材質、大きさなどにより調節できる。

【0017】また、可動部(3)の加速度 α を測定することにより、力の瞬時値を $M\alpha$ として推定することができる。ダンパーの密度分布および加速度分布を考慮することにより、さらに高精度に力センサー(4)の受感部(5)に作用する力の瞬時値を推定することができる。

【0018】単一周波数で連続した振動を与える加振器による動的応答校正法では、各周波数、各振幅に対する振幅変化比、位相変化量が校正結果として与えられる。そこで得られた力センサー出力 F_{xx} の時系列をフーリエ変換し、それぞれの周波数成分に対して真値を推定し、それら再合成することにより、力センサーに作用した力の真値の時系列を推定することができる。これと、本方法で高精度に求められる力の時系列との違いを比較することにより、力センサーの校正方法に内在する問題点に関する情報が得られる。

【0019】衝突時に衝突点で作用する力によるモーメントにより、可動部(3)の姿勢が変化する可能性に対しては注意する必要がある。その理由は、可動部(3)とガイド部(2)間の空気膜の形状が変化すると気流の状態が変化し、上述のような方法で求めた摩擦特性が当てはまらない状態となる可能性があること、具体的には、可動部(3)がガイド部(2)に機械的に接触する可能性もあることが挙げられる。

【0020】そこで、後述のように図3に示す実施例2では、衝突点(17)と可動部(3)の重心を結ぶ直線が、可動部の運動の方向と平行となるように設定することにより、衝突において生じる力が可動部(3)の姿勢変化に及ぼす影響を小さくするようにしている。ただし、特にダンパー(18)による衝撃の緩和が小さくしたい場合、すなわち、衝撃を急峻にしピーク値を大きくしたい場合には、衝突時に衝突点(17)で生じる力の運動方向以外の成分が無視できない大きさになることがある。その場合には、衝突点(17)と可動部(3)の重心を完全に一致させる構造を取ることが有効である。例えば、ガイド部を2本に分けるなどして可動部の重心位置から外し、かつ、可動部を削り抜きその重心位置に衝突点(17)を形成する。

【0021】実施例1および実施例2は、可動部(3)に取付けた平面鏡の傾き変化をオートコリメータ(9)、(10)で測定している。本実施例では可動方向に垂直な面に鏡を取りつけ、その2自由度の傾きを測

6

定しているが、可動方向に平行な面にも鏡を取付けて、可動部(39)の剛体としての3自由度の角度すべてを測定できるようにしてもよい。

【0022】姿勢測定器(9)、(10)としては、平行光線の被測定物からの反射光を凸レンズで集光し、その焦点面上での光点の変位から傾きを求める原理のオートコリメータなどが適当である。光点の面内変位の測定には、4分割センサーなどを用いてもよい。この実施例の場合、姿勢が10マイクロラジアン以上変動した場合には異常と判定し、衝突点(17)の再設定、ダンパー(18)の形状、位置の再設定を行うことにしている。ただし、4分割センサーを用いる場合には、戻り光のクオリティに十分に注意し、ターゲット以外からの戻り光が無視できるほど微弱であることを確認する必要がある。

【0023】以下、実施例1を例にとって本発明の作用を説明する。力センサー(4)に与えられる力積、すなわち、力の瞬時値の時間積分値を正確に知ることを可能とする、力センサーの衝撃応答評価方法である。図1に示すような、リニアガイドに支持された可動部(質量: M kg)を手で動かし、定盤に固定された力センサーに衝突させそこに作用する力積 $\int F dt$ [kg m/s]と、衝突前後の速度(v_1 、 v_2 [m/s])を光波干渉計で測定する。摩擦抵抗の小さなリニアベアリングとして、静圧空気直線軸受け“エアスライド”(NTN(株)の登録商品名)を用いる。摩擦力が無視できる条件下では、可動部の運動量変化 $M(v_1 - v_2)$ は、可動部が力センサー(4)に与える力積 $\int F dt$ に等しく、 $\int F dt = M(v_1 - v_2)$ [kg m/s]となる。

【0024】 $M=10.955$ kgである衝突実験における、力センサー(4)に作用した衝撃力の時系列、および、可動部の速度変化を見てみると、衝突により可動部の運動エネルギーは約70%熱エネルギーに変換されているが、力センサーで計測した力積と光波干渉計で計測した可動部(3)の運動量は0.5%程度の差で一致した。

【0025】ここでは、本方法の原理を説明する目的で、ダンパー(18)として厚み約5mm、断面積約1cm²のスポンジを用い衝撃応答をかなり緩和させ、力センサー(4)の静的特性と動的特性の違いがなるべくでないような条件とした。ここでは、力センサーとしては、半導体歪ゲージを弾性体に張付けた構造のもの(容量9.8 N、昭和測器(株)製)を用いた。

【0026】使用したエアスライドの静的摩擦特性、および、動的摩擦特性は十分に注意深く評価されるべきである。実施例1の場合、可動部(39)に作用する動摩擦力は可動部速度に比例し、可動部速度が2cm/sの時に動摩擦抵抗は約 10^{-3} Nであった。速度に比例することから、衝突の前後での速度測定点が同じであれば、動摩擦力の時間積分値は行きと帰りで相殺してゼロになる。エアスライド(1)のガイド部(2)と可動部(3)の間

に作用する静的な力は、約 10^{-4} N/mmであった。この静的な力は、空気膜(21)と通気溝(23)などガイド部と可動部の間の気流の左右非対称に起因すると考えられる。特に、ガイド部の内側に掘られた通気溝の両サイドの圧力差に起因すると考えられる。

【0027】傾斜ステージ(7)は、可動部(3)がスポンジ(18)にちょうど接する位置において、可動部(3)が静止する見掛け上の水平な傾斜に設定してある。この時の角度は、シリコンオイル、水銀などの液面などを用いた水平面をリファレンスとして、オートコリメータ(10)により測定される。可動部に作用するこの力の接触している時間に渡る時間積分は、約0.00016k gm/sとなり、これは全運動量変化量の約0.03%に相当する。もしも、スポンジを薄くして衝撃応答をより急峻なものとするれば、この静的な力による部分は減少する。力センサー(4)に与えられる力積測定における相対標準不確かさは、 10^{-3} よりよいと推定される。

【0028】この発明では、動的な力の周波数及び振幅の任意設定性という観点では劣るものの、力センサー(4)に与えられる力積を可動部(3)の速度変化として置換測定することにより極めて高精度に測定できるといふ、決定的長所を有している。さらに、測定対象となる力センサーは定盤(6)に固定されるという大きな長所を持つ。この方法は、力センサーの衝撃応答特性の校正に、また、一般的な動特性評価法を衝撃応答に適用する場合の誤差評価に、有効である。

【0029】実験では、力センサー(4)に作用した力積の総量を、衝突前後における可動部(3)の運動量変化として置換測定した。しかしながら、衝突期間中の可動部の加速度を測定することにより、力センサー(4)に作用している力の瞬時値を置換測定することも可能である。さらに高精度に力の瞬時値を推定したい場合、ダンパー内部の慣性質量分布、および、その加速度分布を考慮しその影響を補正することも考えられる。

【0030】実際の校正装置デザインにおいては、衝突点(17)と可動部(3)の重心を結ぶ直線が、可動方向と平行となるように設定することにより、衝突時における可動部の姿勢変化を小さく押さえられる。衝突時における可動部の姿勢変化、可動部とガイド部の機械的接触、それにより生じるガイド部と可動部との間の力の作用に対しては十分な注意を払う必要がある。

【0031】可動部(3)の姿勢角度は、運動の状態によって、オートコリメータ以外の方法も用いることが出来る。鏡はオートコリメータの測定光に対して殆ど垂直である必要があり使用時に、オートコリメータまたは鏡をかなり正確に、アライメント(光軸合せ)する必要があるために、測定環境が安定せず鏡、オートコリメータの方向がドリフトしやすい(ズレやすい)場合には、取り扱いにくい物となってしまう。その場合には、運動方向に対して垂直の面内に配置された、複数のコーナーキ

ューブプリズムの移動距離を光干渉計で同時に測定し、その差から角度変化を導出する方法が有利になるであろう。

【0032】移動距離の差をコーナーキューブプリズムの間隔で割り算した物が、角度変化となる。速度測定に用いる干渉計を併用することが出来るなどの利点もある。特に急峻な衝撃応答における姿勢変動を測定したい場合、光波干渉計は高速サンプリングに対応しやすいので、複数のコーナーキューブプリズムの相対位置から姿勢を求める方法は有効である。

【0033】可動部の速度測定に用いる干渉計を構成するコーナーキューブプリズムは、可動部の姿勢変化に対するサイン誤差(別名アッペ誤差)と呼ばれる測定誤差を少なくするためには、運動方向に関して被校正力センサーと同軸上にあることが望ましい。こうすることによってコサイン誤差のみになり、姿勢変化に極めて強くなる。

【0034】速度測定に用いる干渉計は高速の場合には、ドップラーシフトを測定する物、低速の場合には、干渉出力の光の明暗の位相を直接読みとる方法が有利となる。双方を組み合わせて用い、その信号の状態により、より高精度な信号を選び出しながら用いると、一般的な場合に適用範囲が広がる。

【0035】次ぎに、図3を用いて実施例2について説明する。姿勢変化量の許容範囲の探索には、図2のように、互に対向させ2つの直動軸受(1)、(1')の可動部(3)、(3')を衝突させ、そのときの両者の加速度の時系列、運動量の変化量から、摩擦状態の異常を検知する方法を用いている。

【0036】衝突点(17)、(17')の位置、ダンパー(18)の形状、材質、個数、可動部質量、初速などを変えて衝突させ、そのときの姿勢変化挙動と、運動量変化を計測する。通常のやり方で摩擦の影響を補正した2つの可動部の運動量の変化量の和が十分に小さくない場合、それは姿勢変化による機械的接触が発生したためとみなされる。

【0037】ダンパー(18)としては、スポンジ、ゴム、紙、プラスチック、バネ、などいろいろな材質、および、構造が適用できる。急峻な衝撃力を微妙に整形したい場合には、薄くて堅いダンパーに、ピエゾ素子を直列に張り付け、衝突期間中にその電圧をコントロールする方法も有効である。

【0038】また、本実施例では、衝撃力の形の調整は主としてダンパー(18)で行った。しかし、実際の破壊試験など力センサーが使われる場面では、一発大波動的な衝撃以外にも、ごく短い時間の間に段階的に違った形の衝撃力が作用するということもある。そのような場合に対応するために、可動部を一体型の剛体でなく、弾性体、機械構造体などの複雑な内部構造を持たせることも有効である。

【0039】こうして、衝突により可動部(3)の内部構造が適当な変形・破壊をするようにして、衝突により力センサー(4)に作用する力の時系列の形を複雑なものとする事ができる。こうした場合には、衝突の前と後とでの定常状態、あるいは、弾性体の場合には振動中心が分かり、衝突の前後での可動部全体の運動量変化の総量が分かれば、それが力センサに作用した力積の総量に等しい。さらに、可動部各部の加速度と慣性力の瞬時値を見積もることができれば、力センサーに作用する力の瞬時値についても知ることができる。

【0040】自動車など大型構造物のクラッシュ試験においては、構造物全体を直動ベアリング上に乗せて、全運動量変化を精密測定することにより、それを力センサーで測定した力積と比較することにより、力センサー出力の誤差を総量において知ることができる。また、本実施例において、片方または両方の衝突点(17)、(17')に力センサーを取付け、衝突時の応答波形を速度、姿勢などのデータとともに記録することにより、力センサー(4)が固定されていない場合の応答について調べることもできる。この場合、力センサーのリード線(信号線、電源線)を可動部から取り出すに当たっては、力が掛からないように可動距離に対して十分に弛ませるなどの工夫が必要である。あるいは、可動部に増幅器、送信機装置一式を乗せ、電磁波(電波、赤外線など)により記録装置と繋いでもよい。

【0041】図4を用いて実施例3について説明する。この装置の場合、2本の円柱状のガイド部(2)により、直動ガイドされた可動部(3)の重心位置に衝突点(17)を設けている。これにより、衝突時に発生する力の可動方向に垂直な成分が、可動部の姿勢変化に寄与する影響を小さくしている。衝突点と可動部重心位置を一致させる理由は、衝突時の可動部の姿勢変動を小さく押さえるためである。

【0042】本装置の製作、使用に当たっては、使用する直動軸受(1)の摩擦に関しては、十分に注意を払う必要がある。この静圧空気軸受(1)の摩擦特性評価法については印刷工程にある参考文献(Y. Fujii, H. Fujimoto: Measurements of frictional characteristics of a pneumatic linear bearing, Meas. Sci. Technol., Vol.10, No.5, pp. 362-366, 1999)に詳しく記載している。

【0043】以下、参考として、実施例1および実施例2で使用した直動軸受の摩擦特性評価方法について述べる。エアスライド(NTN(株))などのリニア空気軸受は、高精度な運動特性、および、小さな摩擦といった特徴を有している。エアスライドは左右対称のクエット流れの空気膜(21)で支持されるため、理想的には静止摩擦はゼロであり、動摩擦は空気の粘性摩擦抵抗となる。しかしながら、実際のエアスライドにおいては、ガイド部(2)の傾斜角に、可動部(3)が静止状態を保

つ範囲が存在し、かつ、その中心値は大きな変化をする。残念ながら、この摩擦特性に関する文献は見当たらない。

【0044】一方、本発明者らは無重力環境下における質量測定法の研究を行っているが、地上での予備実験において摩擦の小さな直線運動を実現させる目的で、エアスライド(1)を利用している。また、本発明者らが提案している力センサーの衝撃応答評価方法においても、直動静圧軸受(1)の摩擦特性は極めて重要な要素である。さらに、質量の量子標準化を目指す超伝導磁気浮上法においては、超伝導浮上体の姿勢変化が大きな問題となっており、その安定化のために超伝導直動ベアリングの導入が検討されている。

【0045】そこで、エアスライドに代表される摩擦の小さな直動軸受(1)の、静的、および、動的な摩擦特性の計測法として、時間的、空間的に定常な加速度場としての重力加速度 g を利用する方法を開発した。なお、超伝導磁気浮上法において導入予定の直動軸受は高真空、低温(4.2K)環境下で動作する必要があるため、この摩擦特性評価法をクライオスタット内で行うことも検討している。

【0046】ガイド部給気方式の直動静圧軸受“エアスライド”(NTN(株)製:可動距離90mm、可動部最大質量27kg、無負荷時の設計空気膜圧8mm、空気膜剛性70Nmm⁻¹、ガイド部の真直度0.3mm/100mm)を評価対象とした。エアスライドを可変傾斜ステージに乗せ、ステージ上での位置は目視でスケールより読み取る。スケール上に $X=15\text{mm}$ から75mmまで10mm間隔で5点の測定点を設け、 $X=15\text{mm}$ の点を基準点(Position-A)とする。可動部(3)の速度は光波干渉計で測定する。また、その質量は分銅の着脱により変えられる(可動部全質量: $M=2\text{kg}$ 、6kg)。

【0047】可動部が静止状態を保つガイド部(2)の傾斜角度の範囲(q_{\min} 、 q_{\max})を可動部の可動各位置 x において測定した。合計6セットの計測を行い、各セットにおいてPosition-Aを原点(ゼロ点)とした。その中心値 $q_c = (q_{\max} + q_{\min})/2$ は、 $M=2\text{kg}$ において $X=75\text{mm}$ 点では実に150mrad以上となった。真直度は0.3mm/100mmであることより、 q_c においてガイド部(2)に作用する流体力と重力が釣り合うと考えられる。その流体力 Mg_{qc} の可動部各位置での変化の様子として、Position-Aを基準とすると $X=75\text{mm}$ 点とでは、-3mN程度の力が作用している。

【0048】また、可動部(3)の質量による依存性が小さいことから、この現象は“角度”ではなくて“力”が本質的なものであると考えられる。この流体力の発生原因としては、設計上唯一の非対称気流が生じる通機構(23)の左右両壁面の圧力差が考えられる。この場合、力は常に可動部を中心位置 $X=45\text{mm}$ に向かわせるよう作用し、先に述べた力の向きと一致する。

【0049】可動部(3)が静止状態を保つ角度範囲の半幅 $q_{H} = (q_{max} - q_{min})/2$ については、 $Mg \sin q_{H}$ が見かけ上の最大静止摩擦力を表す。可動部(4)の質量による依存性が小さいことから、“力”が本質的なものであると考えられる。この静止摩擦力の発生原因としては、ガイド部と可動部(3)の間に生じる微細なポテンシャルの凹凸が考えられる。すなわち、この微細なポテンシャルの谷一つ一つを乗り越えるのに、ある大きさの力を必要とするということが考えられる。このポテンシャルの凹凸は、可動部(3)とガイド部(4)が空気膜を挟んで互いに接する面内の微小な凹凸、オイルなどの付着物質の状態によるものと考えられる。

【0050】動的な摩擦特性は、ガイド部(2)の傾斜設定角度範囲 $q_{st} = 1-3\text{mrad}$ において、ガイド部上での可動部(3)の自由落下の上りと下りにおける運動方程式を解くことにより得られる。(上りと下りとで、動摩擦力の方向は逆、重力の方向は同一であることを利用する。)ガイド(2)の幾何学的傾斜角度 q が小さいとき、可動部(3)の加速度 a を、動摩擦力 F_D をと

$$Ma = -Mg \sin q + F_D,$$

となる。

【0051】動摩擦力 F_D が、クエット流の粘性摩擦抵抗 F_{Df} に等しいとすると、 m_{air} を空気の粘性係数として

$$F_D = F_{Df} = -m_{air} S v/h,$$

動摩擦力 F_D は、可動部(3)とガイド部(2)が通気溝(23)を含む空気膜(21)を挟んで互いに接する内面表面積 S 、可動部速度 v に比例し、膜厚 h に反比例したものとなる。

【0052】登りと降りについて時間平均化(添字:m)を施すと、

$$Ma_{up,m} = -Mg \sin q_{up,m} - |F_{D,up,m}|$$

$$Ma_{down,m} = -Mg \sin q_{down,m} + |F_{D,down,m}|,$$

$$q_{up,m} + q_{down,m} = \pi/2$$

(2)?式を考慮して、

$$F_{D,up,m} / F_{D,down,m} = v_{up,m} / v_{down,m}.$$

【0053】登りと降りにおける傾斜角の時間平均は、ほとんど等しく、 q_m と置ける。従って、上記3つの方程式は、 $F_{D,up,m}$ 、 $F_{D,down,m}$ 、 q_m の3つを未知数として解ける。結果は、実験により得られた動摩擦力は理論値と一致した。また、同時に求められた傾斜角 q_m は、見掛け上の傾斜角($-q_c$)の時間平均値($-q_c$)とガイド部(2)の設定傾斜角 q_{st} の和、($-q_c$) $+q_{st}$ 、と一致した。このことから、可動部静止状態で作用した流体力 $Mg \sin q_c$ は、可動部(3)が動いているときにも同じ様に

作用することが分かる。

【0054】この方法では、直動静圧空気軸受(1)の静的、および、動的な摩擦特性の計測に、時間的、空間的に定常な加速度場としての重力加速度 g を利用する。可動部(3)に作用する力としては、静止摩擦力、動摩擦力のほか、気流の非対称性により生じる力についても、考慮する必要がある。

【0055】以上の測定により、ガイド部(2)と可動部(3)とが空気膜(21)を介して互いに作用させあう力を見積もり、それが無視できないほど大きい場合には補正する必要がある。一般的に衝突時間が短く、衝突の前後における速度測定の時間間隔が小さければ、この摩擦に関する補正は不要である場合が多い。例えば、力センサー(4)の衝撃応答特性評価の目標精度が0.1%程度である場合には、この摩擦に関する補正は不要である場合が多い。

【0056】

【発明の効果】本発明により、力センサー(4)に与えられた力積、すなわち、作用した力の時間積分値、の真値を極めて高精度に知ることのできる装置を提供することが可能となった。この装置は、力センサー(4)の衝撃応答評価に使えるだけでなく、各種動的校正方法を衝撃応答に適用する上での妥当性の評価を行う上で役立ち、産業上のメリットは極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1を説明するための図

【図2】本発明の実施例1を説明するための図

【図3】本発明の実施例2を説明するための図

【図4】本発明の実施例3を説明するための図

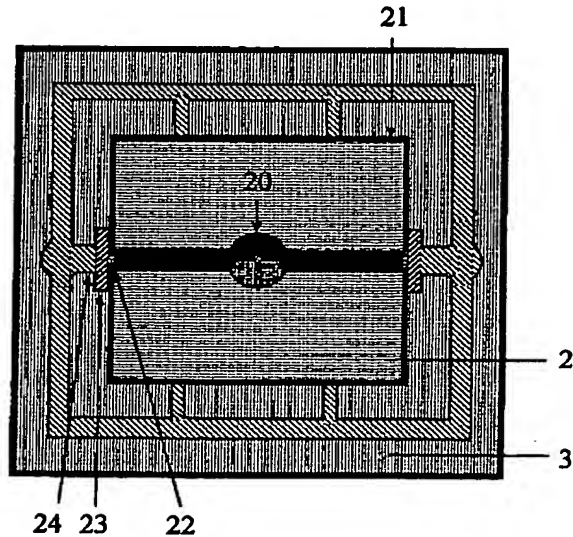
【符号の説明】

- 1 直動軸受
- 2 直動軸受のガイド部
- 3 直動軸受の可動部全体
- 4 力センサー
- 5 力センサーの受感部
- 6 定盤(台座)
- 7 可変傾斜ステージ
- 8 可動部の速度を測定するための測定器(光波干渉計など)
- 9 可動部の姿勢を測定するための測定器(オートコリメータなど)
- 10 ガイド部の姿勢を測定するための測定器(オートコリメータなど)
- 11 コーナー・キューブ・プリズム(可動部の速度を測定するための測定点を与える。)
- 12 傾斜角度を測定するために可動部に取付けられた平面鏡
- 13 傾斜角度を測定するためにガイド部に取付けられた平面鏡
- 14 光波干渉計のレーザ光線

- 13
 15 オートコリメータの平行光線
 16 オートコリメータの平行光線
 17 可動部に設けられた衝突点
 18 ダンパー（可動部上、もしくは、衝突点上に張付ける）
 19 リニアアクチュエータ

*

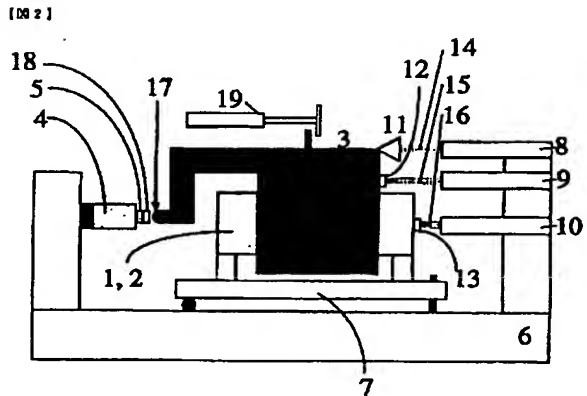
【図1】



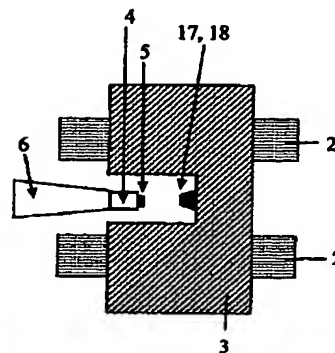
14

- * 20 ガイド部の内部を通る通気管
 21 空気膜
 22 空気吹き出し口
 23 通気溝
 24 空気導入口

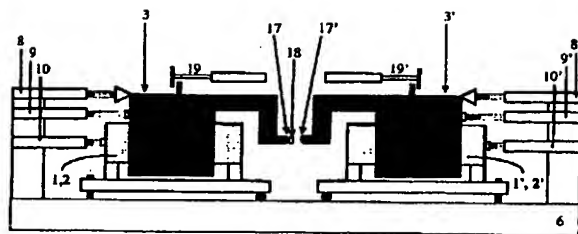
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

審査官 石井 哲

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01L 1/00 - 25/00

